УДК 004.75:004.9:004.7

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОЗОНА, АЭРОЗОЛЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ ИЗ ДАННЫХ ЛИДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

И.В. Бойченко, М.Ю. Катаев*, А.И. Петров

Томский госуниверситет систем управления и радиоэлектроники
*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск
E-mail: kmy@asu.tusur.ru

Приводится описание распределенной информационной системы, предназначенной для удаленной обработки данных лидарного зондирования таких параметров атмосферы, как профиль концентрации озона, температуры и отношения рассеяния. Распределенная система построена по принципу клиент-сервер, где сервер работает как накапливающий и обрабатывающий центр, а в задачи клиента входят функции приема-передачи данных и результатов обработки, а также визуализация. Показываются возможности системы при организации сети лидарных станций.

Введение

В настоящее время география станций лидарного зондирования атмосферы (ЛЗА) заметно расширяется. До настоящего времени лидарные станции являются надежным поставщиком регулярных сведений о процессах, происходящих в верхней атмосфере (50...100 км). В сотрудничестве с ИОА СО РАН (г. Томск) создаются станции ЛЗА в г. Якутске, на Камчатке, проводятся измерения в ходе морских экспедиций (г. Владивосток) [1].

Данные ЛЗА, полученные в различных географических точках, позволяют полнее изучить атмосферные процессы и апробировать существующие алгоритмы обработки данных применительно к новым условиям и оборудованию. Создание станции ЛЗА требует больших усилий по настройке и поддержке оборудования, а также высокой квалификации исследователя при обработке и интерпретации данных. Во многих науках достаточно остро стоит проблема совместного использования и обработки экспериментальных данных, получаемых в различных организациях, удаленных иногда на значительные расстояния друг от друга (например, в разных странах). Важнейшими здесь являются вопросы накопления и предоставления доступа к банкам данных, а также распространение и поддержка соответствующего программного обеспечения.

В настоящее время на станциях ЛЗА, как правило, разрабатывается уникальное программное обеспечение, которое настраивается под конкретную реализацию аппаратуры лидара. С одной стороны, эти программы позволяют получить надежный результат, а с другой стороны, при сравнении с результатами других лидарных станций, изменении условий измерений, будет происходить и изменение самого результата. Для решения этой проблемы нами предлагается проводить обработку лидарных данных одной или нескольких лидарных станций при помощи одной программы. Способ реализации предлагается в виде клиент-серверного приложения.

Для организации оперативного обмена и обработки данных ЛЗА в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) совместно с ИОА СО РАН создается распределенная информационная система.

Система предполагает наличие в г. Томске сервера приложений, позволяющего удаленно обрабатывать данные ЛЗА с целью восстановления профилей концентрации озона, отношения аэрозольного рассеяния, температуры. Предполагается создание клиентского программного обеспечения, реализующего отдельные алгоритмы обработки самостоятельно, без обращения к центральному узлу – серверу. Но в случае необходимости с помощью веб-интерфейса можно будет осуществить полный цикл обработки только с помощью главного узла системы. Сервер также предоставляет возможности пополнения банка экспериментальной информации и обновления клиентского программного обеспечения. Данная статья посвящена описанию структуры, возможностей и реализации распределенной информационной системы.

Описание распределенной информационной системы

Практические особенности обработки лидарных данных являются однотипными для разных лидарных станций, где применяется один метод измерений. Так, например, метод дифференциального поглощения одинаково реализуется как в видимой, так и в ИК областях спектра. Отличие наблюдается лишь в способе измерений, типе детектора, величине шумов и фонового сигнала и др., но не в основе метода измерений. В этом случае типичная блок-схема цикла «измерение-обработка» представлена на рис. 1.

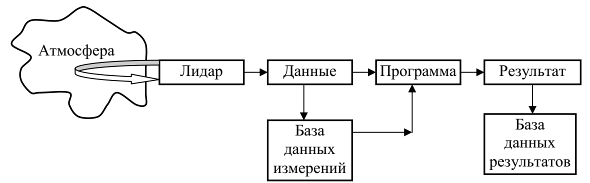


Рис. 1. *Блок-схема цикла измерение-обработка*

На большинстве лидарных станций результат измерений обрабатывается непосредственно в момент поступления или через некоторое время, путем считывания результатов из базы данных (рис. 1). Ре-

зультаты обработки (профили концентрации газов, температуры или отношения рассеяния) накапливаются в соответствующей базе данных. При сравнении результатов работы нескольких лидарных станций, как правило, сравниваются результаты обработки данных измерений без тщательного анализа алгоритмов обработки. Алгоритмы обработки могут вносить некоторые систематические погрешности, которые могут, в принципе, повлиять на результат сравнения или сделанный вывод. Базы данных результатов измерений в редких случаях передаются и обрабатываются сторонними алгоритмами.

Ранее, нами были разработаны программные системы [2, 3], которые полностью соответствовали режиму измерений, показанному на рис. 1. Однако, современное состояние и распространенность Интернет-технологий позволяет выйти на другой уровень обработки, накопления и анализа данных измерений.

Нами предлагается подход, основанный на современных Интернет-технологиях, позволяющий связать несколько лидарных станций в один узел, иметь однотипные обрабатывающие алгоритмы, проводить одновременные компании измерений и др.

Как видно из рис. 2, структура разрабатываемой распределенной информационной системы является простой. Каждая станция ЛЗА имеет программу-клиент, которая обладает некоторыми функциями, которые делегированы ей программой-сервером. Программа-сервер обладает максимальными функциональными возможностями по накоплению, обработке, сравнению данных измерений. Программа-клиент имеет доступ к результатам, которые возникают на стороне программы-сервера. Программа-клиент, в принципе, является независимой, однако ее наполнение функциональными возможностями определяется программой-сервером.

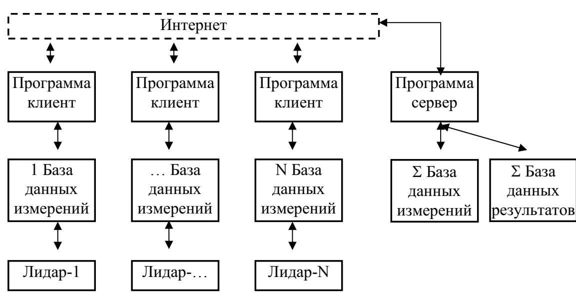


Рис. 2. *Структура разрабатываемой распределенной информационной системы*

Методики восстановления профилей концентрации озона, температуры и отношения рассеяния

Определение вертикального профиля содержания газа из лидарных эхо-сигналов, полученных с помощью двухволнового лидара, сводится к задаче дифференцирования функции $f(z)$ [2–4]:

$$f(z)=\frac{1}{2}\ln\left(\frac{N_{OFF}(z)}{N_{ON}(z)}\right)+\Psi(z), \qquad (1)$$

$$\Psi(z)=\frac{1}{2}\ln\left(\frac{\beta_{ON}(z)}{\beta_{OFF}(z)}\right)-(\tau_{ON}(z)-\tau_{OFF}(z)),$$

где N_{ON}, N_{OFF} – зарегистрированные с высоты z эхо-сигналы на длинах волн λ_{ON} и λ_{OFF}; и β_{ON}, β_{OFF} – коэффициенты обратного рассеяния на соответствующих длинах волн; τ_{ON}, τ_{OFF} – оптические толщи молекулярного рассеяния и аэрозольного ослабления.

В выражении (1) предполагается, что величины N_{ON}, N_{OFF} очищены от сигналов фонового излучения атмосферы. Функция $\Psi(z)$ задается из модельных представлений, либо определяется из независимого эксперимента. При посылке импульсов излучения в узкой спектральной области, занимаемой отдельной колебательно-вращательной линией, функцию $\Psi(z)$ можно положить равной нулю.

Концентрация газа $\rho(z)$ определяется из выражения:

$$\rho(z)=\frac{1}{2\Delta K(z)}\varphi(z),$$

где $\varphi(z)$ – регуляризованный аналог производной функции $f(z)$; $\Delta K=K_{ON}-K_{OFF}$ – дифференциальное сечение поглощения исследуемого газа.

Плотность атмосферы $\rho_a(z)$ связана с объемным коэффициентом молекулярного рассеяния $\alpha(z)$ соотношением:

$$\alpha(z)=\sigma\cdot\rho_a(z),$$

где σ – коэффициент молекулярного рассеяния.

Таким образом, измеряя лидарные сигналы $N(z)$ мы можем восстановить коэффициент молекулярного рассеяния, и, затем, плотность воздуха $\rho_a(z)$. Разумеется, область высот, в которой мы желаем получить $\rho_a(z)$ по оптическим рассеивающим свойствам, полностью определяется отношением аэрозольного и молекулярного рассеяния.

Для того, чтобы получить формулы для расчета давления $P(z)$, температуры $T(z)$ и плотности воздуха $\rho_a(z)$ по измеренному объемным коэффициенту молекулярного рассеяния $\alpha(z)$, необходимо воспользоваться двумя уравнениями – статики и состояния идеального газа (см., например [3, 4]):

$$dP=-g\rho dz, \quad \rho=\frac{P\mu}{RT},$$

из которого следует

$$P(z)=P_0-\int_{z_0}^{z}g(z)\rho(z)dz,$$

и в заключение имеем:

$$T(z)=\frac{1}{\rho(z)}\cdot\left[T_0\rho_0-\frac{\mu}{R}\int_{z_0}^{z}g(z)\rho(z)dz\right], \qquad (4)$$

где $\rho(z_0)=\rho_0$ – плотность воздуха в точке калибровки, R – универсальная газовая постоянная; μ – молекулярный вес воздуха; g – ускорение силы тяжести, равное [3]:

$$g(z,\varphi)=\left(\frac{R_z}{R_z+z}\right)^2;\ g(\varphi)=g_0(1-a1\cdot\cos 2\varphi),$$

где g_0=980,616 см·с$^{-2}$ – ускорение силы тяжести на широте 45 град, R_z=6370 км – средний радиус Земли; φ – широта места и $a1$=0,0026.

При решении обратной задачи лидарного зондирования профиля концентрации озона, наличие аэрозольных образований (слоев) существенно может повлияет на точность восстановления. Поэтому необходимо знать состояние аэрозольной атмосферы в момент зондирования. Сведения об аэрозольном наполнении можно получить из тех же данных лидарного зондирования, путем расчета отношения аэрозольного рассеяния. Из данных об отношении рассеяния можно определить аэрозольные слои, которые сопоставляются со структурой слоев профиля концентрации озона, что позволит явно разделить физически обусловленную структуру от случайных слоев.

Отношение рассеяния определяется формулой:

$$R(z)=\frac{\beta_m(z)+\beta_a(z)}{\beta_m(z)}=1+\frac{\beta_a(z)}{\beta_m(z)}, \qquad (2)$$

где $\beta_a(z)$, $\beta_m(z)$ – коэффициенты рассеяния назад аэрозольного и молекулярного рассеяния.

Из (2) видно, что отношение рассеяния показывает вклад аэрозольной составляющей в общее рассеяние. В стратосфере вклад молекулярной составляющей более существенен, и поэтому только слои аэрозоля могут приводить к отклонению величины R от единицы.

Вычисление отношения рассеяния проводится по ниже приведенному выражению:

$$R(z)=\frac{N(z)z^2}{CT^2(z)\beta_m(z)},$$

здесь C – сигнал в точке калибровки (обычно 25...30 км).

Реализация распределенной информационной системы

Архитектурно распределенная информационная система представляет собой две взаимодействующие части: приложение-сервер и приложение-клиент. Все вычислительные возможности, требуемые для обработки данных, заключены в сервере. Приложение-клиент может обращаться к возможностям сервера посредством сети, а также имеет возможность сбора данных измерений с различных станций ЛЗА в общее хранилище данных на стороне сервера. Приложение-сервер представляет собой вычислительную систему, состоящую из нескольких логических частей. Хранилище данных – позволяет хранить и накапливать данные измерений ЛЗА, промежуточные и конечные результаты обработки этих данных. Управляющий модуль – обеспечивает координированную работу остальных частей. У него имеется общая информация по всей системе, что позволяет ему распределять вычислительные задачи. Он обеспечивает взаимодействие с приложениями-клиентами и сохраняет измеряемые данные и результаты обработки в хранилище. Вычислительные модули, получая задания и данные от управляющего модуля, непосредственно производят требуемые вычисления. Схема приведена на рис. 3.

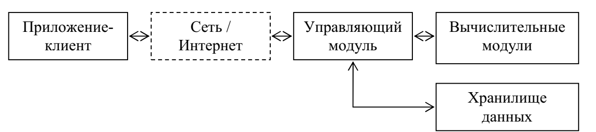


Рис. 3. *Архитектура сервера системы*

Такая реализация системы требует четкого описания всех моделей и данных, так как сервер может предоставлять доступ только к полностью описанным вычислительным возможностям. Пользователь системы выбирает модель, в ней задачу, и затем параметры задачи. После этого система определяет порядок необходимых вычислений и отправляет их на исполнение. Затем полученный результат сохраняется в хранилище, рис. 4.



Рис. 4. *Схема порядка работы системы при работе с пользователем*

Реализованы приложение-клиент и приложение-сервер на языке программирования JAVA. Описание модели проводится на языке XML. Вычислительные модули могут быть реализованы на различных языках программирования, но преобладающее количество написано на языке FORTRAN. В таком исполнении система может работать под большим количеством операционных систем.

На рис. 5 приведен образ разработанного программного клиента. Как видно из рисунка, клиент обладает базами данных измерений и обработанных значений, настройками соединений и процесса обработки. На данном рисунке в графическом окне показан исходный лидарный сигнал и сигнал после нескольких преобразований, которые для пользователя выполняются автоматически.

Заключение

При организации системы в виде клиент-серверного приложения появляется возможность гибкого масштабирования как вычислительных ресурсов, так и количества поддерживаемых задач. Наращивание производительности может быть произведено за счет увеличения числа вычислительных машин, а также за счет оптимизации вычислительных модулей под конкретные задачи. Структу-

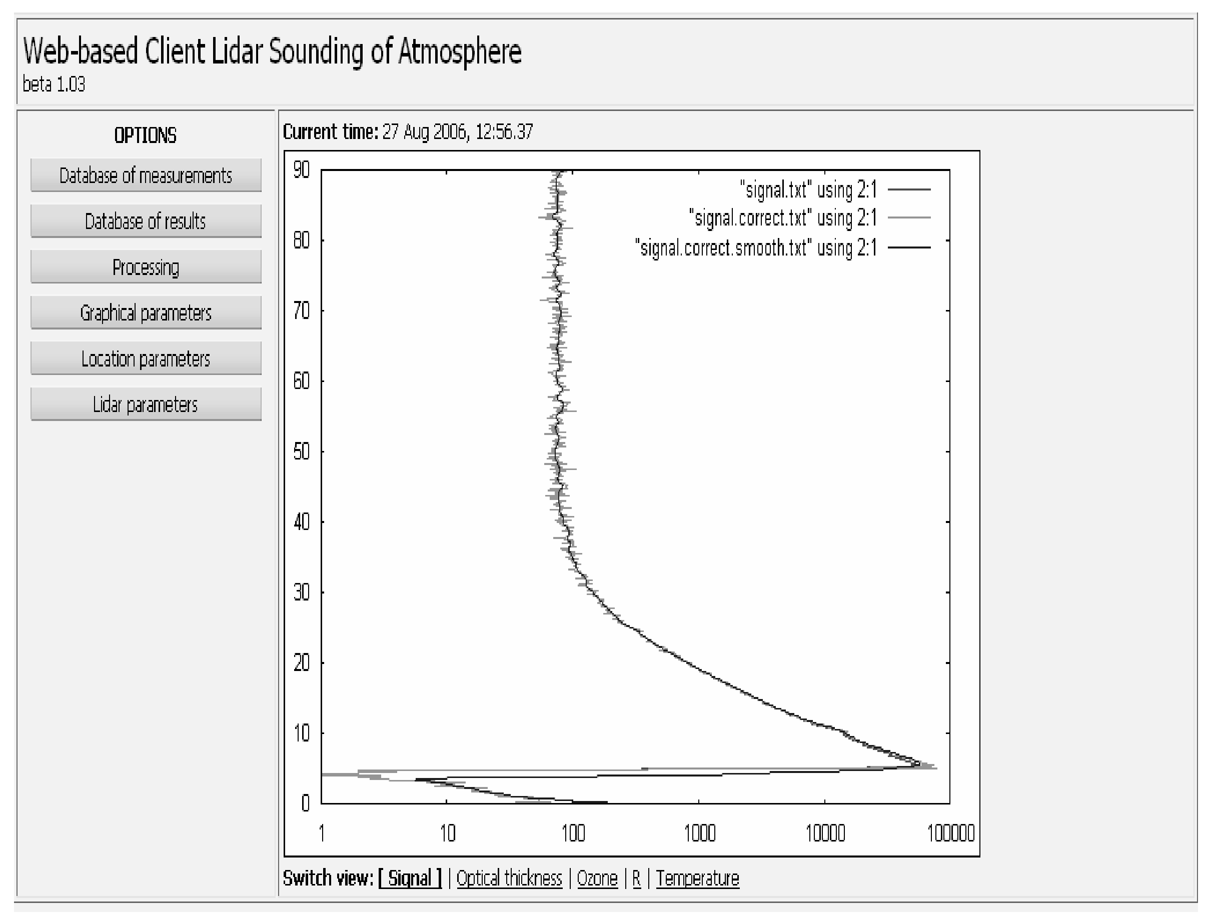


Рис. 5. *Образ клиентского окна*

ра программного обеспечения для решения указанных выше задач изначально формировалась так, что добавление новых функций не вызовет кардинальных изменений работы системы в целом.

Предлагаемая вниманию система проходит всестороннее тестирование (в первой версии сервер находится в ТУСУРе, а клиент в ИОА СО РАН, г. Томск).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cheremisin A.A., Kushnarenko A.V., Marichev V.N. e. a. Polar stratospheric clouds above Yakutsk according to data of two years lidar observations in 2004–2006 // Atmospheric and ocean optics. Atmospheric physics: Proc. of XIII Intern. Symp. – Tomsk, 2006. – P. 120.
2. Бойченко И.В., Зуев В.В., Катаев М.Ю., Маричев В.Н., Мицель А.А. Информационная система для обработки, анализа и хранения стратосферных оптических измерений // Оптика атмосферы и океана. – 1999. – Т. 12. – № 5. – С. 134–141.
3. Бойченко И.В., Катаев М.Ю., Маричев В.Н. Информационная система для анализа данных лидарного зондирования озона // Гидрология и метеорология. – 2001. – № 12. – С. 96–105.
4. Лазерный контроль атмосферы / Под ред. Э.Д. Хинкли, В.Е. Зуева. – М.: Мир, 1979. – 416 с.
5. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование – М.: Мир, 1987. – 550 с.
6. Применение лазеров для определения состава атмосферы / Под ред. В.М. Захарова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 216 с.